

# ELECTROMEDICINA

## OBJETIVOS

Conocer, describir e interpretar el principio físico y las aplicaciones médicas de los distintos aparatos basados en el uso de la corriente eléctrica. Analizar los peligros de la electricidad y conocer las indicaciones de atención del accidentado con corriente eléctrica. Identificar el principio físico de Láser y sus aplicaciones médicas.

## CARACTERÍSTICAS DE LOS APARATOS DE USO MÉDICO

Hay dos tipos de características en los instrumentos: estática y dinámicas.

Las estáticas corresponden a mediciones de señales que no varían en el tiempo, es decir que son constantes.

Las dinámicas están en relación con el comportamiento del instrumento ante señales variables.

### Características Estáticas

#### Sensibilidad

Es la propiedad que está en razón inversa del valor de la mínima señal que es capaz de medir. Por ejemplo, un amperímetro que mide  $\mu\text{A}$ , es más sensible que otro que mide  $\text{mA}$ .

#### Error

Es la diferencia entre el valor real de la magnitud medida y el acusado por el instrumento.

Los errores se dividen en dos grandes categorías: casuales y sistemáticos.

Los casuales se deben a diferencias en la confrontación entre el indicador y la escala o efecto de paralelaje en la lectura, o por acción del medio ambiente.

Los sistemáticos se deben a fallas en el sistema instrumental y éstos no se pueden corregir por medio de la repetición de las mediciones.

#### Exactitud

Revela el valor real de la magnitud medida y está determinada por el error sistemático.

#### Fidelidad

Llamada también repetibilidad, es la propiedad de acusar el mismo valor en sucesivas mediciones de una misma magnitud.

### **Relación señal-ruido**

Si se trabaja con niveles altos de amplificación en los circuitos electrónicos, se observa que junto con la señal amplificada aparecen fluctuaciones debidas a innumerables causas que influyen sobre el sistema, como el zumbido de línea o el acoplamiento de campos magnéticos.

### **Características Dinámicas**

Existen dos formas de determinar las características dinámicas de los instrumentos:

- Utilizando señales transitorias, es decir únicas.
- Por medio de señales de estado estacionario, es decir que se repiten en el tiempo de modo uniforme.

## **ELECTROENCEFALOGRAFÍA**

La actividad bioeléctrica cerebral, es captada a nivel del cuero cabelludo, por los electrodos, luego es amplificada, y finalmente registrada por oscilógrafos sobre un papel en movimiento. El electroencefalograma (E.E.G.) es un método diagnóstico de la clínica y de la neurofisiología, su trazado registra una suma de actividades múltiples. Las mismas células nerviosas parecen proporcionar una diferencia de potencial (en el orden de los  $\mu\text{V}$ ), menor que las dendritas, y en particular de aquellas que se encuentran en las células piramidales, de la quinta capa de la corteza, dando diferencias de potencial recogidas a distancia. Se mide una parte de la actividad eléctrica cerebral, de la que se da una imagen parcial.

La interpretación de los trazados es empírica, pues se consideran como normales los trazados más frecuentes estadísticamente. Los trazados **anormales** representan variaciones enormes con respecto a la media.

Los **electrodos** deben ser diseñados y construidos de tal manera que permitan registrar la actividad eléctrica, con eficiencia y sin distorsión. Lo que se desea registrar determinará el electrodo a utilizar, y esto a su vez el tipo de amplificación que se requiere.

Dependiendo del lugar de registro se clasifican de la siguiente manera:

**Electrodos superficiales:** son de fácil y rápida colocación y remoción, indoloros y permanecen en su lugar durante un tiempo prolongado. Pueden ser:

\*Electrodos adheridos, se obtiene un trazado libre de artificios. Constituidos por un pequeño disco metálico, de 5 mm de diámetro, unido al cuero cabelludo por una pasta denominada bentonita, la cual fija al electrodo y es buena conductora.

\*Electrodos de contacto, son sujetados por bandas elásticas, constituidos por un tubo de plata enroscado a través de un soporte de plástico, colocado debajo de la banda elástica.

\*Electrodos de aguja, son dolorosos y muy peligrosos ya que pueden transmitir hepatitis virósica y otras enfermedades infectocontagiosas. Actualmente se utilizan sólo en situaciones especiales, como en la determinación de muerte cerebral.

**Electrodos especiales:** son el faríngeo, el esfenoidal y el tímpanico, que son denominados electrodos basales, explorando la base de los lóbulos frontales y temporales del cerebro.

**Electrodos neuroquirúrgicos:** son utilizados por el Neurocirujano durante el acto quirúrgico, son duros, corticales o intracerebrales.

## **Método de colocación de electrodos superficiales de Herbert Jasper**

### **Medición anteroposterior**

1. Se mide la distancia entre el nasión y el inión, sobre el vértex.
2. El 10% de esta distancia, sobre el nasión, corresponde al reparo Fp (fronto/polar).
3. A partir del punto Fp, hacia atrás, se agrega el 20% de distancia nasión –inión, estableciéndose así el punto de reparo F (frontal).
4. De la misma manera ,agregando el 20% de la distancia del nasión – inión, a partir del reparo F y hacia atrás, se ubica el reparo C (central).
5. El punto P (parietal) se ubica agregando el 20%.
6. El reparo O (occipital),se agrega sumando un 10% de la distancia nasión-inión, agregando el 20% al electrodo P, detrás.

### **Medición lateral,(coronal)**

1. Se mide la distancia de izquierda a derecha, entre los puntos preauriculares, pasando por el punto C.
2. A partir del punto preauricular, el 10% de la medida hacia arriba, corresponde al electrodo T3 (temporal medio).
3. El electrodo C3 corresponde al 20% de la distancia total, por arriba de T3.
4. F3 se coloca sobre la línea coronal frontal, equidistante entre el punto F y la línea de electrodos temporales.
5. P3 se ubica sobre la línea coronal parietal, equidistante entre el punto P y la línea de los temporales.

### **Medición lateral (anteroposterior)**

1. Se mide la distancia entre el punto medio Fp y el punto medio O, a través de T3 ya determinado.
2. El 10% de esta distancia, a partir del punto Fp, corresponde al Fp1, hacia la izquierda.
3. El electrodo O1 se coloca a 10% de la distancia total mencionada, a partir del punto medio O, hacia la izquierda.
4. F7 corresponde al punto medio entre Fp1 y T3 en la misma línea.
5. T5, en la misma línea, en el punto medio entre T3 y O1.

De esta manera se colocan 21 electrodos en forma standard.

En el recién nacido y en niños pequeños por el reducido diámetro cefálico, no se pueden colocar los 21 electrodos. Es por ello que en estos casos se usan 8, 10 o 12 electrodos solamente.

Cabe destacar que hoy en día hay registros de E.E.G. computados, ya sea de 20 o de 32 canales. Además se puede realizar estudios de sueño como la polisomnografía y el registro simultáneo de videoelectroencefalografía (de 24 a 48 hs) de monitoreo continuo. Estos registros tienen aplicación específica en determinados tipos de epilepsia y no son de uso rutinario.

### **El E.E.G. Normal**

#### **a) Elementos de electrofisiología cerebral**

**Ritmos:** los registros muestran la suma de actividades neurónicas sincronizadas, es decir *ritmos*. Estos provienen en parte de la autoritmicidad celular, en parte de las interacciones de ciertas neuronas o grupos de neuronas sobre su vecindad.

**Potenciales evocados:** o “respuestas evocadas”, se trata de actividades bioeléctricas que se observan sobre las áreas de proyección, después de estimulaciones sensoriales. Su estudio es de gran interés, se observan formas de reacción del cerebro en combinaciones experimentales.

**Sistemas de control:** la actividad eléctrica del cerebro supone un control de las estructuras corticales. El Sistema reticular activador ascendente de Moruzzi y Magoun, cuya excitación provoca una *reacción de alerta*, observada en todo el registro. Por otra parte el Sistema talámico de proyección difusa, cuya excitación provoca *husos de sueño, ondas lentas y puntas ondas*, análogas a las del “*Petit mal*”. Entre la actividad eléctrica cortical y los sistemas reguladores de la base existe una serie incesante de intercambios eléctricos. El E.E.G. registra las modificaciones eléctricas resultantes de estas múltiples acciones y reacciones.

#### **b) Actividad eléctrica normal del cerebro**

**Actividad alfa:** es la actividad rítmica esencial en el cerebro de un individuo despierto, en reposo, relajado y con los ojos cerrados. Dicho ritmo está compuesto por ondas de una frecuencia de 10 ciclos por segundo (10 c/s), rango de 8 a 13 c/s, apareciendo sobre las áreas occipitoparietotemporales de manera bilateral y sincrónica, pero no siempre simétricas. Se disponen en forma de husos más o menos próximos. Desaparece durante el sueño y se interrumpe (desincronización) si el sujeto abre los ojos o fija su atención en un objeto: es la “reacción de paro”.

*Variantes:* puede estar ausente en ciertos sujetos normales, puede ser muy amplio y aparecer con los ojos abiertos en ciertas condiciones.

**Actividad beta:** difícil de registrar en el individuo normal en las exploraciones transcraneanas, se compone de ondas de 15 a 18 c/s, se recoge en las regiones frontocentrales en accesos sinusoidales bilaterales pero no sincrónicos. Siendo de muy pequeña amplitud, es sensible a las variaciones tonicomotrices (aumento o desaparición con el esfuerzo, con los movimientos de los miembros).

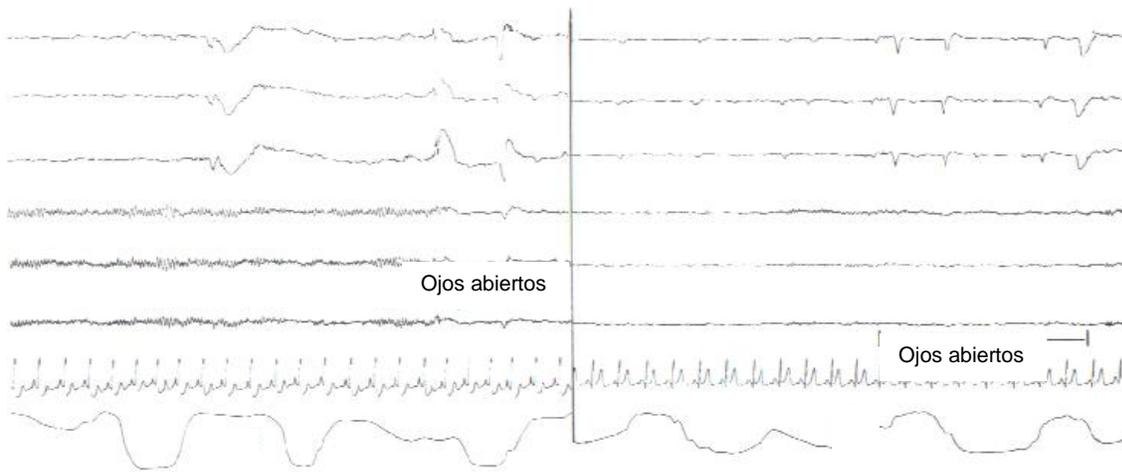
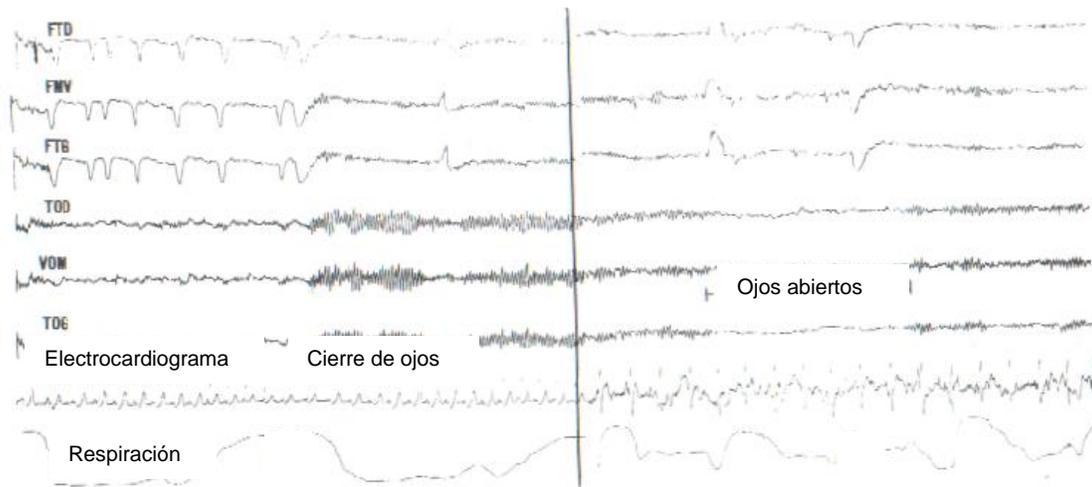
**Actividad theta:** se compone de ondas de 4 a 6 c/s. Aparece generalmente en las regiones parietotemporales dispuesta en accesos fusiformes, por lo general es simétrica y sincrónica. Su voltaje medio es de 50  $\mu$ V.

No siempre son rítmicas, pueden estar aisladas o agrupadas en pequeñas unidades. La falta puede aparecer en estados afectivos penosos o depresivos.

**Actividad mu:** se trata de un ritmo que varía entre 7 y 11 c/s detectable en las áreas centrales y con una característica forma de arcos.

**Actividad Lambda:** si un sujeto observa una imagen compleja -foto o cuadro- en las áreas occipitales pueden aparecer ondas electropositivas de bajo voltaje e incluso mediano voltaje, las cuales desaparecen si cambiamos la imagen compleja por una simple.

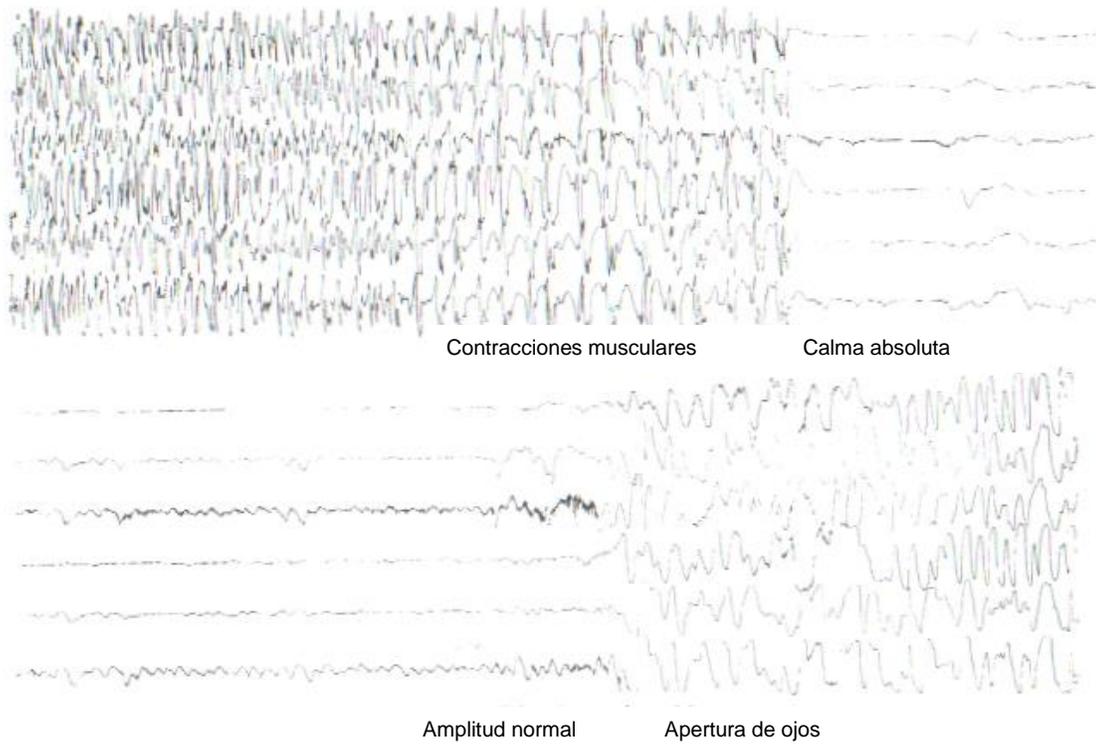
**Actividad lenta posterior:** onda lenta del tipo delta menor a 4 c/s y con amplitud de hasta 500  $\mu$ V, sin significado patológico. Sobre ellas se superponen con frecuencia, ondas alfa.



Actividad alfa de  
amplitud media

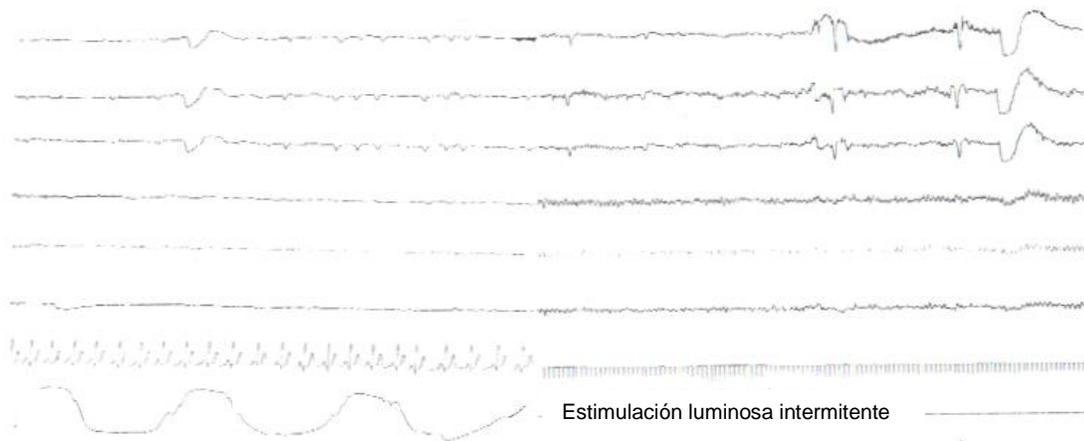
ejc.

Actividad alfa discontinua  
de bajo voltaje



### Variaciones normales del E.E.G.

Recordemos que los registros *normales* se observan recién entre los 15 y 20 años. En el niño los ritmos lentos son normales en el curso de los primeros años, a partir de los 3-5 años de edad, aparecerá la actividad alfa, sin embargo de un niño a otro se observa una gran diferencia dependiendo del grado de maduración biológica.



Durante el **sueño** aparece, en primer lugar una depresión del ritmo alfa, después un trazado constituido por ondas theta y de accesos rápidos de 14 c/s sobre las regiones centrales, con puntas lentas en la región del vértex y luego ondas lentas en todas las derivaciones esto corresponde a las ondas delta que aparecen en el sueño superficial establecido y desaparecen en el profundo, donde se observa el silencio eléctrico interrumpido por amplios husos, **esquema de Loomis**.

En estado vigíl, el E.E.G. varía de la mañana a la noche, el ritmo alfa presenta una mayor amplitud al comenzar el día que al terminar la jornada.

El miedo y el dolor alteran el ritmo alfa, la hiperpnea produce en los jóvenes la aparición de ondas lentas.

Los medicamentos anticonvulsivantes dan lugar a ondas rápidas, es menester preguntar por lo tanto que medicación toma o ha tomado antes de realizar el estudio.

### **Focos anormales**

Si bien no existe un solo dipolo central que reemplace en sus efectos a la actividad eléctrica del cerebro en su conjunto, es posible imaginar un dipolo local para estudiar los efectos de la actividad eléctrica circunscripta a una pequeña zona.

P

DIPOLO                    - \_\_\_\_\_ \* \_\_\_\_\_ +

Suponiendo que en el punto P se encuentra un foco anormal, vamos a poder establecer el lugar de acuerdo a los canales que registren las mayores deflexiones, que por supuesto será lo que se encuentre frente al *dipolo*.

**Medios de activación**, la hiperpnea prolongada durante varios minutos produce una alcalinización de la sangre que aproxima al sujeto a un foco epileptógeno, la estimulación luminosa intermitente desencadena una hipersincronía, que es la más importante excitación para la epilepsia latente generalizada. La inyección intravenosa de Cardiazol produce el mismo efecto. Un estado de shock traumático o psíquico puede desencadenar un foco epileptógeno.

### **Agrupamientos patológicos más frecuentes**

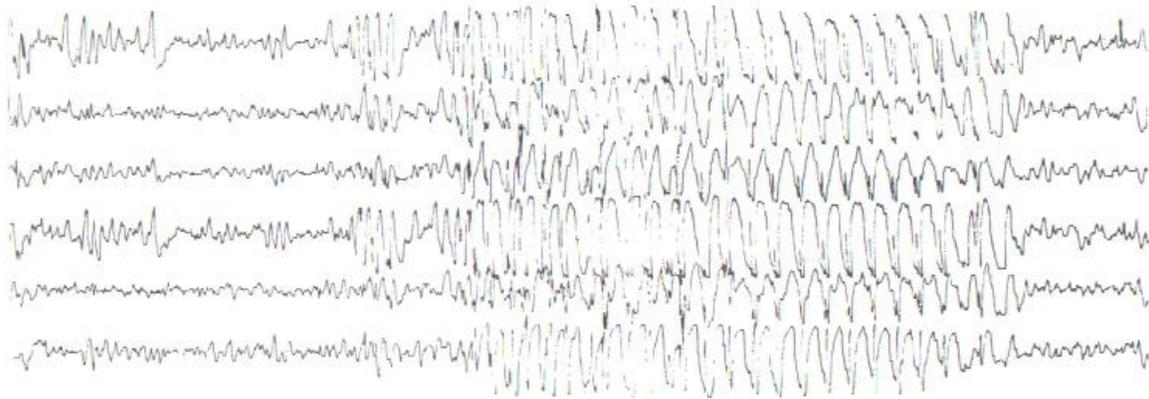
**Ondas lentas generalizadas:** pueden señalar un proceso cerebral difuso, traumático, vascular, infeccioso o tóxico, una epilepsia generalizada o un proceso localizado del tronco cerebral, cualquiera que sea su etiología, señalando el carácter agudo del proceso.

**Depresión local de la actividad eléctrica:** cuando aparece en un registro normal es un signo de gran valor localizador, si bien puede derivar de diversas etiologías como la destrucción local del parénquima, un hematoma subdural (del cual es el signo eléctrico clásico), necrosis cortical extensa y/o atrofia.

**Focos de ondas delta:** si los tejidos estudiados son eléctricamente inactivos, aparecen ondas delta en las regiones vecinas. Puede decirse que la figura “depresión eléctrica”, señala una lesión más periférica y más extensa que la figura “foco delta circunscripto”.

**Foco epileptógeno:** se caracteriza por figuras paroxísticas que aparecen dentro de un territorio bien delimitado. Los trazados obtenidos con distintos montajes permiten localizar los focos superficiales o de petit mal.

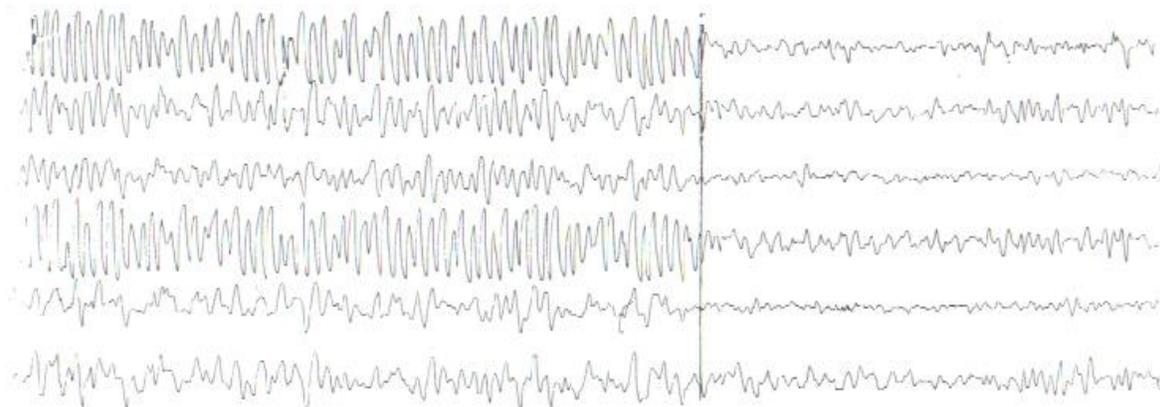
Por el contrario en los focos profundos se debe realizar un diagnóstico aproximado.



14 años

Ausencia Electroclínica

**Signos eléctricos de epilepsia generalizada:** en el gran mal, se observan diversas figuras paroxísticas. Por ejemplo, descargas de puntas agudas y rápidas de las crisis generalizadas. Al enfermo se lo estudia en los períodos intercríticos donde el registro señala ondas lentas, puntas, puntas-ondas que aparecen de entrada o sucesivamente en las diversas derivaciones.



10 minutos después de la crisis

### **Resultados negativos**

Como ejemplo, en las encefalopatías las secuelas clínicas pueden ser muy importantes, y sin embargo haberse extinguido la actividad eléctrica alterada, es decir que no se manifiestan en el electroencefalograma.

## **ELECTROMIOGRAFÍA**

Es el estudio de la actividad eléctrica neuromuscular, que se mide en tres patrones:

- 1-Exploración en estado de reposo.
- 2-Registro de los potenciales de unidades motoras individuales en el esfuerzo ligero.
- 3-Registro de la actividad muscular en máximo esfuerzo.

### **Técnica**

Para el estudio se utilizan electrodos de aguja. Es una aguja o cánula muy fina de acero en la que va alojado, un hilo de platino, recogiendo la diferencia de potencial entre el hilo de platino y la superficie de la aguja, que actúa como electrodo indiferente. Los potenciales obtenidos son pequeños del orden de los  $\mu\text{V}$  y  $\text{mV}$ , por lo que para su mejor visualización se utilizan amplificadores que poseen una impedancia de entrada de 100 a 200  $\text{M}\Omega$ , que evita una caída de tensión a lo largo del electrodo, permitiendo el paso de una frecuencia entre 2 y 10.000  $\text{c/s}$ . Por esto el registro es llevado a un osciloscopio de rayos catódicos, pudiendo ser fotografiados. En la actualidad los aparatos de frecuencia modulada permiten la reproducción de registros electromiográficos libres de distorsiones.

La exploración consiste en la inserción del electrodo de aguja en un músculo, sin anestesia. Como los electrodos son muy gruesos para introducirse en una fibra muscular aislada, el registro se hace extracelularmente.

### **Exploración en estado de reposo**

Al comenzar el estudio con la aguja insertada en el músculo se observan salvas de breves potenciales con cierta frecuencia de 1 a 3  $\text{ms}$  y una amplitud de unos 100  $\mu\text{V}$ . Son potenciales de inserción y son determinados por introducir o mover mecánicamente el electrodo, desaparecen rápidamente.

En las personas nerviosas y aprensivas no resulta fácil conseguir una relajación total. Constituyen una excepción del hecho los músculos faciales y extrínsecos del ojo en los que solamente aparece reposo eléctrico en los agonistas mediante la inervación de los antagonistas. El lugar donde mejor se recoge información es en la placa mioneural, una actividad espontánea del músculo en reposo son los denominados potenciales de placa motora, sobre la línea de base se insertan a intervalos irregulares potenciales con una amplitud de 250  $\mu\text{V}$  y una duración de 1 a 5  $\text{ms}$ , de deflexión negativa. También pueden observarse cerca de la placa motora potenciales bi o trifásicos de fibrilación, que desencadenan un potencial de acción propagado,

que son considerados normales o de reacción. Se observan a menudo fasciculaciones benignas, descargas rítmicas naturales.

### **Registro de los potenciales de unidades motoras individuales en el esfuerzo ligero**

Con la contracción voluntaria ligera del músculo aparecen potenciales de acción resultantes de la totalidad de la unidad motora. La misma está constituida por una célula ganglionar del asta anterior, su cilindroeje y todas las fibras musculares inervadas por ella, es la unidad funcional más pequeña del músculo que puede activarse en forma voluntaria. Los potenciales pueden ser bi o trifásicos. La duración y amplitud es mayor, constituyéndose el denominado **potencial punta**.

Una desventaja de los métodos descritos, es que solo permiten una valoración cuantitativa de unidades motoras, si el paciente aumenta la contracción del músculo explorado se comienzan a producir interferencias, lo que hará imposible una valoración absoluta.

### **Registro de la actividad muscular en máxima esfuerzo**

La fuerza contráctil del músculo dependerá de las unidades motoras reclutadas, de la frecuencia de despolarización y de la intensidad del estímulo aplicado. Esta técnica permite determinar con cierta aproximación el número de las unidades motoras disponibles en la proximidad del electrodo explorador, pero no se puede hacer un análisis cuantitativo exacto. Depende de la colaboración del paciente, por tal motivo en los niños es difícil obtener un patrón de interferencia por la falta total de colaboración. Los criterios de valoración y medición de la amplitud de los potenciales generados son iguales a los criterios explicados para el estudio de **unidades motoras aisladas**.

### **Indicaciones de un estudio Electromiográfico o Miografía**

- 1-Fibrilación muscular.
- 2-Denervación muscular.
- 3-Excitación en terminales nerviosas.
- 4-Neuropatías con debilidad o pérdida de unidades musculares y motoras.
- 5-Enfermedades degenerativas propias de la fibra, nervio y / o placa mioneural.
- 6-Infecciones a nivel muscular y nervioso.
- 7-Enfermedades metabólicas que secundariamente llevan a una pérdida de la contracción y posterior atrofia muscular.
- 8-Enfermedades desmielinizantes.
- 9-Enfermedades infectos contagiosas.

## **POTENCIALES EVOCADOS (respuestas evocadas)**

Se trata de actividades bioeléctricas que se observan sobre las áreas de proyección primarias, después de estimulaciones sensoriales. Su estudio es de un gran interés,

pues permite estudiar ciertas formas de reacción del cerebro en combinaciones experimentales. Estas últimas respuestas se han constituido en un valioso complemento diagnóstico de patologías que afectan las vías aferentes específicas. Los sistemas sensoriales susceptibles de ser estudiados se limitan a los que responden a estímulos físicos, sin participar de esto el sentido del gusto y el olfato.

### **Potenciales evocados auditivos**

El estudio de la actividad bioeléctrica de este sistema, con un criterio anatómico y fisiológico, permite evaluar las respuestas evocadas de la vía sensorial en toda su extensión, desde el receptor hasta las áreas corticales de asociación.

El registro de la actividad del receptor se conoce como electrococleografía, en él se observan tres tipos de respuestas eléctricas:

- a- Las ondas microfónicas cocleares, que se originan de la superficie cuticular de las células ciliadas.
- b- El potencial de acción del nervio coclear.
- c- Los potenciales sumatorios que informan sobre la vibración de la membrana basal.

### **Potenciales evocados visuales**

El estudio bioeléctrico de este circuito comienza con la investigación de la actividad del receptor por medio del electroretinograma (ERG). Este método que comenzó a utilizarse en el año 1945 con el registro de la actividad retiniana a través de electrodos corneales, se vale en la actualidad del promedio de respuestas obtenidas por medio de electrodos de superficie, donde se discriminan tres componentes esenciales:

Una onda negativa **a** que se origina en los fotorreceptores y que en condiciones escotópicas aparece entre los 9 y 17 ms de la aplicación del estímulo, una deflexión positiva de mayor amplitud llamada **b** que es la respuesta de la capa de células bipolares a los cambios electrofisiológicos locales y cuyo tiempo implícito varía entre 35 y 45 ms, y una onda **c**, positiva originada en el epitelio pigmentario y de escaso valor diagnóstico.

De esta manera se puede verificar en un ERG normal la integridad funcional de dos estratos retinianos, el de los receptores y células bipolares y del mismo modo la presencia de patologías.

Existe la técnica (muy utilizadas para seguir investigando la normalidad de la vía óptica) de los potenciales evocados por estimulación con *flash*, los que consisten en una serie de oscilaciones positivo – negativas registradas sobre la línea media de las regiones occipitales con la finalidad de evaluar maduración de la vía y proveer la diferencia entre lesión de la vía visual y simulación representando la respuesta cortical a una estimulación total de la retina, comenzando con una onda positiva llamada **I**, continúa con otra onda negativa llamada **II**, produciéndose una onda de gran voltaje luego de los 100 ms en forma de una negatividad, la onda **IV** y una gran onda positiva llamada **V**, con inversión de imagen y a estímulo estructurado, posibilidad hacia abajo sujeto normal, respuesta a estimulación por “pattern” en dámara (**a**).

Este estudio tan completo y complejo permite determinar la existencia de una sensorialidad normal y fluidez en la transmisión del estímulo sensitivo hacia su área de asociación sensorial correspondiente.

## MARCAPASOS

La definición de **marcapaso** (MP) se aplica a estimuladores eléctricos para tratar ritmos cardíacos de baja o alta frecuencia, siendo esencialmente una microcomputadora implantable que se puede adaptar en forma no invasiva a cualquier forma de estimulación o detección requerida.

Desde la década de los veinte los fisiólogos entendían cinco fenómenos que eran indispensables para comprender la invención del marcapasos:

1. El corazón que ha dejado de latir no necesariamente está muerto y puede ser reanimado.
2. No es perjudicial tocar o estimular eléctricamente el corazón vivo.
3. Los estímulos en la forma de pulsos eléctricos pueden reiniciar la frecuencia ventricular.
4. No es necesario que los ventrículos reciban la estimulación de su marcapaso natural, que es el nodo sinusal, sino que pueden reaccionar a la estimulación directa.
5. No se necesita la contracción auricular para la función cardíaca y la vida activa.

Si el sistema de conducción natural del corazón está dañado, las corrientes eléctricas producidas normalmente por el marcapaso del propio corazón no pueden ser conducidas a los ventrículos por estar bloqueada la conexión entre aurícula y ventrículo. Esta función cardíaca reducida es insuficiente para bombear la cantidad de sangre necesaria a través del sistema circulatorio; siendo el primer órgano que reacciona a esta escasez de sangre, el cerebro. Como consecuencia se producen disnea, e inclusive desmayo, además de debilidad física general. El marcapaso artificial demostró ser una posibilidad confiable de "imprimir" al corazón un ritmo regular y adecuado.

Los marcapasos contemporáneos tienen la capacidad de provocar la contracción cardíaca (estimulación) y reconocer la actividad espontánea del corazón (sensado).

Los elementos básicos que constituyen un sistema de estimulación cardíaca artificial son:

1. Sistema de estimulación cardíaca:

Batería  
Catéter  
Interfase  
Corriente

## 2. Sistema de sensado:

Filtros Pasabanda  
Análisis de Onda recibida

### **Conceptos de estimulación celular**

Entre las distintas propiedades que exhibe la célula, se encuentra su capacidad de respuesta a estímulos externos. Cuando estos son eléctricos, dicha manifestación dependerá de la intensidad (I) del campo eléctrico generado, que de acuerdo con la ley de Ohm, estará relacionada en forma directa con la tensión desarrollada (V) e inversa a la resistencia (R) del sistema. ( $I = V / R$ ). Un estímulo es efectivo si en una membrana celular en fase excitable es capaz de reducir el potencial transmembrana de reposo (habitualmente - 90 mV) hasta valores cercanos a los - 60mV, con lo que se logra desencadenar un potencial de acción. Esta corriente de despolarización se propagará luego como una onda de excitación a través de todo el miocardio, cumpliendo con la ley del todo o nada. La estimulación eléctrica artificial debe cumplir dos premisas:

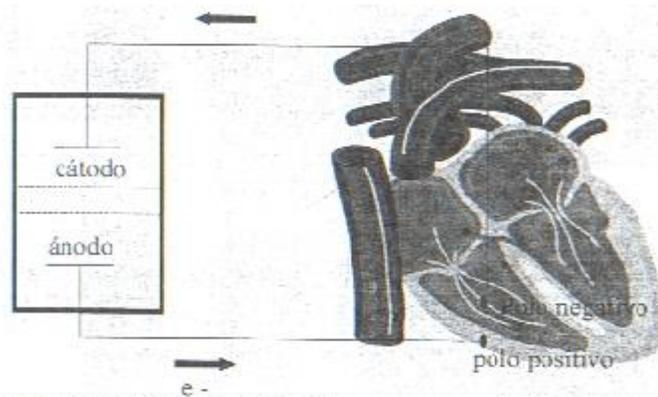
- ▶ La corriente de estimulación debe ser tal que evite la redistribución irreversible de los iones intra y extracelulares, lo que originaría daños tisulares.
- ▶ El consumo de corriente debe ser el menor posible para prolongar la vida útil de la batería.

### **El circuito eléctrico y la interfase electrodo-miocardio**

El electrodo, la interfase y el miocardio subyacente constituyen partes de un circuito eléctrico donde el principal interés se asienta sobre la interfase, creándose como un capacitor de placas paralelas (llamado doble capa de Helmholtz) Tiene una primera capa de moléculas de agua absorbidas a la superficie del metal, actuando como un dieléctrico (aislante) y una segunda capa compuesta por iones hidratados que se acumularon bajo la influencia del campo eléctrico (solución). Cuanto mayor sea la capacitancia, menor será la resistencia en la interfase electrodo-miocardio y mejores los resultados obtenidos en relación a minimizar la energía requerida para la estimulación, maximizar las amplitudes de las señales a ser sensadas y disminuir los fenómenos de pospotenciales.

### **Energía transmitida en el pulso del marcapasos**

En cada pulso, una cierta cantidad de corriente eléctrica constituida por un haz de electrones es liberada desde el ánodo y recorre el medio sólido, el catéter, hasta el extremo del mismo. En esta zona la carga de electrones tiende a acumularse durante un instante y pasa luego al intersticio, con mayor o menor facilidad en función de la resistencia; lo que justifica el desarrollo de distintas técnicas aplicadas a las superficies de contacto de los electrones. Luego, a través de los tejidos y de la sangre, el flujo de electrones se dirige hacia el cátodo, cerrándose el circuito. En su paso por el intersticio, la corriente de electrones dará origen a cargas iónicas que, actuando sobre la membrana celular, provocarán la despolarización de la fibra cardíaca.



Funcionamiento de una Batería de un Marcapasos

### Umbral de estimulación

Es la menor cantidad de energía requerida para obtener una respuesta propagada consistente, permitiendo la despolarización y como consecuencia-contracción del miocardio. La energía (E) requerida para estimular el músculo cardíaco es función de la tensión que origine la fuente (voltaje), la corriente que se genere (amperios); y la duración del impulso(milisegundos), expresados en la siguiente fórmula:

$E \text{ (joules)} = \text{Tensión(voltios)} \times \text{Intensidad(amperios)} \times \text{tiempo( milisegundos)}$

Como  $I = V / R$ (resistencia)

Entonces  $E \text{ (joules)} = \frac{V^2 \times t}{R}$

La **resistencia** al paso de la corriente es la suma de las resistencias del electrodo, y de las que presenta la interfase electrodo-miocardio junto a los tejidos subyacentes. Como estos valores de resistencia son prácticamente constantes a los niveles de energía que se utilizan para el marcapaso, en la práctica, el umbral de estimulación depende del voltaje y de la duración del impulso liberado (ancho del pulso).

### Fuentes de alimentación

Desde los inicios, numerosas fuentes de energía fueron investigadas (biogalvánicas, nucleares, etc); pero desde 1972, con la introducción de la batería de litio, comenzó a desplazarse a las demás fuentes de alimentación, pasando a dominar en forma excluyente la tecnología de los marcapasos. Las ventajas de la fuente de litio son:

- ▶ Sus reacciones químicas no producen residuos gaseosos, facilitando el encapsulado hermético del sistema y evitando así el contacto de los elementos químicos de la batería con los tejidos o fluidos corporales.
- ▶ La batería de litio exhibe una caída suave del voltaje a medida que se agota el material, permitiendo así la disponibilidad de un período de "recambio electivo", que es el que transcurre entre la disminución del voltaje de funcionamiento normal y el

voltaje en el cual el dispositivo deja de funcionar, tiempo que en la mayoría de los marcapasos se encuentra en el orden de los seis meses.

### **Funcionamiento básico de una batería**

Una batería consta de una célula dividida en dos partes: ánodo químico y cátodo químico. El primero es el reservorio del material que se oxidará durante la descarga, un colector de corriente anódica, que en contacto con el ánodo químico transportará los electrones producidos durante la oxidación al exterior de la batería. (a su polo positivo). Luego, un colector de corriente catódica en contacto con los tejidos o fluidos corporales, devolverá los electrones a la fuente, cuando su energía se haya disipado (polo negativo de la batería).

### **Durabilidad de la batería**

La durabilidad de un marcapaso está relacionada con la capacidad que exhiba la batería expresada en amperio/hora y la corriente de drenaje en correspondencia con el tiempo.

Los cálculos de durabilidad de una batería se realizan considerando un 100% de estimulación, con 0,5 ms de ancho de pulso y a temperatura corporal.

### **Sensado**

El cuerpo humano es atravesado por una gran cantidad de ondas eléctricas generadas en distintas fuentes como la radio, la telefonía, por nombrar algunas. Otras corrientes eléctricas se originan en el propio organismo, como los miopotenciales del músculo esquelético y los potenciales eléctricos del sistema nervioso. Es por eso que un marcapaso a demanda debe poseer la capacidad de reconocer entre las numerosas ondas eléctricas que percibe a aquellas que verdaderamente corresponden a fenómenos de despolarización de fibras cardíacas. Para que el fenómeno de sensado tenga lugar, deben darse ciertas condiciones:

- ▶ La onda debe caer fuera del período refractario.
- ▶ Debe generar un voltaje suficiente.
- ▶ Debe tener una velocidad de crecimiento adecuada.

Coincidiendo con cada latido sensado o estimulado, se inicia un período durante el cual el marcapaso bloquea por completo la capacidad de detección de toda actividad eléctrica. Este lapso se denomina "período refractario". Es fuera de este, donde el marcapaso es capaz de detectar señales eléctricas "período de alerta" (acción de sensado). Cuando la señal eléctrica es percibida por el marcapaso, es sometida a un rápido análisis, para determinar si corresponde a actividad espontánea del corazón, o se trata de un fenómeno eléctrico de otro origen. En el primer caso se producirá inhibición de la estimulación artificial; en el segundo el marcapaso emitirá la correspondiente espiga.

### **Mecanismo íntimo del sensado**

Para poder determinar si un fenómeno eléctrico es genuinamente cardíaco, el marcapaso tiene dos recursos.

El primero, los filtros pasabanda, que están destinados a facilitar el pasaje de ondas cuyas frecuencias (en Hertz) coincidan con los valores habituales de las ondas cardíacas de interés (onda P y complejo QRS), y al mismo tiempo impedir el paso de ondas que exhiban frecuencias por fuera de estos límites. Este reconocimiento se realiza a través del análisis matemático en dominio de frecuencia.

El segundo recurso está relacionado con el tamaño de la señal analizada, expresado en mV. Para esta evaluación en dominio de tiempo, cada señal detectada es descompuesta matemáticamente (análisis de Fourier) y comparada con una señal artificial cuyo valor se conoce, y que se encuentra incluida en el circuito de sensado del marcapaso; así se logra establecer el voltaje de la onda analizada.

Junto con los datos obtenidos mediante el análisis en dominio de frecuencia y tiempo, el circuito de sensado del marcapasos integra la información recogida para determinar la velocidad de crecimiento de la onda en función del tiempo y establecer por fin, si la señal que se obtuvo corresponde a una actividad eléctrica generada en el corazón.

### **Polaridad en estimulación y sensado**

Se utilizan dos variedades de marcapaseo y sensado: la **unipolar**, donde el polo negativo (cátodo) se halla dentro de la cavidad cardiaca y el positivo (ánodo) fuera del corazón; y el **bipolar** donde ambos polos se encuentran dentro de la cavidad cardiaca. En este caso, el extremo distal del catéter corresponde al polo negativo (cátodo) mientras que el anillo proximal coincide con el polo positivo o ánodo.

### **Catéter electrodo**

Su función es transmitir de manera eficaz el estímulo del marcapasos al corazón y los potenciales cardíacos en sentido inverso (estimulación y sensado).

Características que debe presentar el catéter:

- ▶ Biocompatibles.
- ▶ Atóxicos.
- ▶ No ser potencialmente trombogénicos. Muy baja resistencia eléctrica de los conductores metálicos.
- ▶ Capaces de soportar tensiones de flexión y torsión.
- ▶ Adecuada fijación.
- ▶ Fáciles de extraer.
- ▶ Mínimamente traumáticos.
- ▶ Simples y seguros.

Según la vía de implante pueden ser **endocavitarios**, que se introducen por vía venosa, ubicándoselos en aurícula o ventrículo derechos; o pueden ser **epicárdicos** que se implantan mediante una pequeña toracotomía.

### **Modos de estimulación**

El objetivo de todo marcapaso (MP) es asegurar la presencia de un ritmo ventricular a una frecuencia adecuada, esto se consigue con un dispositivo (el generador)

emisor de un pulso (espiga de estimulación) que se conecta al corazón por un catéter, logrando así despolarizarlo.

En la actualidad existe un código de cinco letras que identifica el funcionamiento de los MP. El código indica la o las cámaras estimuladas; la o las cámaras sensadas; la modalidad de respuesta ante el sensado; la programación y presencia de respuesta en frecuencia (es decir, la capacidad de adecuar la frecuencia a las necesidades del paciente en esa situación) y las funciones especiales antitaquicardia.

Este código permite conocer con facilidad las características de funcionamiento del MP.

### **Tipos de marcapasos**

Como se ha comentado, el generador de impulsos trasmite pequeñas descargas eléctricas a través del catéter al corazón que lo hace contraerse. La corriente necesaria la suministra una pequeña batería.

La sonda o catéter conectada al MP se conduce a través de las venas hasta la cámara estimulada, donde transmite el estímulo eléctrico. La frecuencia con que esto ocurre depende del tipo de MP utilizado y de la actividad inherente que todavía le quede al corazón.

► Si el corazón es incapaz de producir latidos por si solo, el MP emite impulsos a la **frecuencia programada**.

► Un porcentaje de pacientes tienen interrupciones intermitentes o temporales en el sistema de conducción. Su pulso es a veces demasiado lento, aparte de eso, su corazón late a un ritmo normal. Durante la fase normal, no se necesita estimulación artificial, únicamente cuando el pulso decae a una frecuencia demasiado baja. Para este tipo de bloqueo, hay MP que entran en acción cuando la frecuencia cae por debajo de un valor determinado, hasta que comience a latir de nuevo a un ritmo normal. Estos dispositivos se denominan **a demanda**. Estos a su vez pueden ser programables o no programables.

► Finalmente existen MP que entregan el impulso de acuerdo con el grado de esfuerzo físico y se llaman **sistemas con respuesta de frecuencia o ritmo adaptativo**.

Será el médico quien defina según el tipo de patología, que marcapaso es más conveniente para cada paciente.

## **FIBRILACIÓN CARDÍACA**

El proceso de activación del corazón se hace ordenadamente y como consecuencia se producen contracciones coordinadas del músculo cardíaco.

Debido a las propiedades ya estudiadas del miocardiocito, y por las condiciones particulares de excitabilidad en un momento dado, puede resultar un tipo de actividad miocárdica completamente desordenada, durante la cuál existen a un mismo tiempo fibras en contracción y fibras en reposo. Esta anomalía tiene tendencia a perpetuarse, especialmente si la masa muscular afectada es voluminosa, y se llama fibrilación. La misma puede afectar a las aurículas, a los ventrículos o a ambos.

La **fibrilación auricular** se caracteriza en electrocardiogramas por la ausencia de ondas P y su reemplazo por las llamadas ondas "f" constituidas por deflexiones variables de una frecuencia de alrededor de 450 por minuto, que se registran mejor en la derivación precordial V<sub>1</sub>, o en las derivaciones especiales esofágicas o intracavitarias. Los complejos ventriculares se presentan a intervalos irregulares y a una frecuencia variable. Pese a la irregularidad del trazado, la fibrilación auricular (transitoria o permanente), es compatible con la vida.

La **fibrilación ventricular** es la más grave de todas las arritmias, comúnmente fatal, constituye el mecanismo más frecuente de muerte cardiaca. En su transcurso, el corazón es incapaz de expulsar la sangre, correspondiendo por lo tanto a un verdadero paro mecánico del órgano. Se caracteriza por movimientos de reptación de los ventrículos, irregulares, incoordinados y rápidos. Ocurre espontáneamente en el hombre como consecuencia de variadas causas, como la enfermedad de las arterias coronarias.

Su mecanismo de producción se establece cuando un foco ectópico dentro del ventrículo, origina estímulos a repetición en una frecuencia y en un período tales que los ventrículos se vuelven incapaces de responder en forma rítmica. Desde el punto de vista electrocardiográfico, la fibrilación ventricular, se presenta en el trazado bajo la forma de complejos anchos, irregulares y de voltaje desigual, en los que no es posible identificar ondas P, ni complejos QRS u ondas T. No existe intervalo isoeléctrico y la frecuencia de estas ondas es e 250 a 500 por minuto. Durante la fibrilación ventricular no hay contracción muscular útil y el volumen sistólico y la presión arterial caen a cero.

Mas adelante se desarrollarán otros conceptos complementarios sobre el tema.

## **DEFIBRILADORES AUTOMÁTICOS IMPLANTABLES (DAI)**

Los DAI basan su funcionamiento en la vigilancia continua de la frecuencia cardiaca del paciente y en la aplicación de terapias eléctricas diversas cuando la frecuencia supera el valor máximo programado. Por ejemplo si el DAI está programado para administrar terapia si detecta una taquiarritmia a una frecuencia de 175 latidos / minuto, una vez que la frecuencia del paciente supera este valor, el dispositivo proporcionará estimulación antitaquicardia o cargará el condensador y administrará una descarga, dependiendo de la terapia programada.

Los DAI tienen la posibilidad de abortar los trastornos del ritmo sin administrar descarga.

Los DAI capaces de administrar terapia antitaquicardia tienen gran flexibilidad de programación para ajustarse a las múltiples variables de detección y tratamiento de

las taquicardias y, por lo tanto, amoldar la terapia a cada tipo de paciente. Pueden programarse distintas "zonas" o "escalones" de tratamiento para detectar las arritmias ventriculares y permitir que las arritmias más lentas sean tratadas con estimulación antitaquicardia antes de que se administre una descarga, pero permiten también que a las taquicardias más rápidas se les administre una terapia más energética. Las descargas se sincronizan con el QRS si se trata de una taquicardia ventricular (cardioversión) o son asincrónicas en el caso de la fibrilación ventricular (desfibrilador).

**Umbral de desfibrilación**, es aquel valor que da un margen de seguridad adecuado para la desfibrilación, usualmente al menos 10 J (joules) menos que la máxima capacidad de energía del DAI. Máxima energía de los DAI: entre 26 J y 38 J. Es difícil asegurar el umbral "ideal", puesto que es idealmente el más bajo conseguible con un margen de seguridad adecuado.

La información que puede recuperarse varía con los diferentes DAI. Todos ellos proporcionan datos relativos a la longitud del ciclo, o la frecuencia, de las taquiarritmias detectadas y pueden almacenar electrogramas de las arritmias detectadas.

## **Indicaciones**

Se han diseñado varios estudios clínicos para determinar el efecto del tratamiento con DAI en la prevención secundaria de la muerte súbita cardiaca, es decir, en pacientes que ya han presentado un trastorno del ritmo ventricular potencialmente mortal, o en la prevención primaria, es decir, en pacientes que tienen alto riesgo de muerte súbita cardiaca.

La enfermedad subyacente puede afectar a la decisión de implantación del DAI. En pacientes con coronariopatía isquémica, la isquemia activa es la causa de taquiarritmias ventriculares significativas y debe valorarse y debe tratarse antes de la implantación. Los pacientes con cardiopatía isquémica y disfunción ventricular izquierda parecen presentar mayor beneficio con el tratamiento con DAI que con fármacos.

En los pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática, la combinación de función ventricular izquierda disminuida y taquicardia ventricular no sostenida se acompaña de mayor riesgo de muerte súbita. Existen ensayos de prevención primaria en pacientes con miocardiopatía dilatada.

El tratamiento con DAI se recomienda en pacientes con síndrome del QT largo congénito que presentan síncope recidivante, arritmias ventriculares sostenidas o parada cardiaca a pesar del tratamiento farmacológico.

Los pacientes con miocardiopatía hipertrófica (MCH) que presentan paro cardíaco deben ser tratados con DAI.

Pueden ser necesarios también fármacos para controlar otros síntomas secundarios, así como tratamiento antiarrítmico, pero el DAI permite mejor protección para la prevención del síncope repetitivo. En los pacientes asintomáticos con MCH e historia familiar de muerte súbita, síncope y taquicardia ventricular no sostenida también debe valorarse la implantación de un DAI.

Los pacientes con fibrilación ventricular idiopática deben ser tratados con DAI. Sin embargo, en los pacientes con taquicardia ventricular idiopática sin enfermedad estructural cardíaca probablemente deba intentarse ablación percutánea antes de la

implantación de un DAI. Aunque hay diversos tratamientos aplicables en pacientes con displasia arritmogénica del ventrículo derecho, el tratamiento con DAI debe considerarse como profilaxis frente al síncope debido a taquicardia ventricular hemodinámicamente inestable y de la muerte súbita cardíaca.

### **Aspectos básicos de diseño y selección**

Los componentes básicos del DAI son:

- ▶ Circuito electrónico.
- ▶ Fuentes de potencia.
- ▶ Memoria.
- ▶ Microprocesador (coordina las diferentes partes del sistema).

Los capacitores de alto voltaje transforman el voltaje de la batería en descargas que van desde 1 V para la estimulación a 750 V para la desfibrilación. Debido a la necesidad de detectar de forma fiable las señales de baja amplitud que produce la fibrilación ventricular y evitar la detección de actividad de fondo extracardíaca y de otras señales cardíacas que no sean taquicardia o fibrilación ventriculares, el circuito de detección está diseñado para que ajuste automáticamente los umbrales de detección.

La durabilidad depende del número de descargas, el grado de dependencia del marcapasos y otras opciones programables, pero la mayoría se espera que dure entre 5 y 9 años.

Es importante conocer el efecto de la forma de onda de descarga. Las ondas bifásicas son más eficientes, es decir, requieren menos energía que las ondas monofásicas. Todos los DAI actualmente disponibles utilizan morfologías bifásicas (braunwald).

### **Desfibrilador Externo Automático (DEA)**

En términos generales, existen sólo dos ritmos de paro cardíaco:

- ▶ Ritmos reversibles con descargas: Fibrilación ventricular (FV) y taquicardia ventricular (TV) sin pulso.
- ▶ Ritmos no reversibles con descargas: Asistolia y Actividad eléctrica sin pulso (AESP).

La técnica de desfibrilación y cardioversión consiste en aplicar una corriente eléctrica directa por un tiempo breve (de unos 5 milisegundos) en la pared torácica, a fin de interrumpir las taquiarritmias. Esta corriente despolariza en forma simultánea todo el tejido cardíaco excitable y desactiva toda el área de reentrada al detener la propagación ulterior del impulso en los circuitos de reentrada. Esto hace que todas las células cardíacas estén despolarizadas por igual, de modo que después de la repolarización se reanuda la frecuencia cardíaca regular, en virtud de un tejido marcapasos predominante por lo general el nodo sinoauricular.

La desfibrilación y la cardioversión se realizan con el mismo tipo de equipo. Este almacena una cierta cantidad de energía eléctrica en un capacitor y, al activarlo, la descarga por medio de dos placas adosadas a la pared torácica. Es usual que el dispositivo incluya un monitor del ritmo cardíaco y un circuito de sincronización. Para reducir la impedancia eléctrica transtorácica y aumentar la corriente que llega al corazón, se aplica gel para electrodos en la superficie de las placas. La presión firme, permite establecer un contacto eléctrico adecuado.

La desfibrilación debe efectuarse tan pronto como se diagnostique la FV: Cuanto más tiempo persista esta última, tanto menos probable será el éxito de la reanimación (medicina de urgencias).

### **Fibrilación Ventricular y Taquicardia Ventricular sin pulso**

Se producen porque los ventrículos contienen zonas de miocardio normal que alternan con zonas de miocardio isquémico, lesionado o infartado, lo que determina un patrón caótico de despolarización ventricular.

En el electrocardiograma:

QRS: imposible de determinar, no hay ondas P, QRS ni T reconocibles.

Ritmo: indeterminado; patrón de deflexiones agudas ascendentes (pico) y descendentes (valles).

Amplitud: se utiliza subjetivamente para describir la FV como fina, moderada, gruesa y muy gruesa.

El paciente presenta:

El pulso desaparece al comenzar la FV.

Inconciencia.

Respiraciones agónicas apnea en <5 minutos.

Comienzo de muerte reversible.

Etiologías:

Síndrome coronario agudo que provocan isquemia en el miocardio.

TV de estable a inestable no tratada.

Extrasístoles ventriculares.

Anomalías farmacológicas, electrolíticas o de ácido-base que prolonguen el período refractario relativo.

Prolongación primaria o secundaria del QT.

Electrocución, hipoxia.

### **Tratamiento**

Desfibrilación con DEA

Nivel de energía (desfibrilador manual bifásico):

- ▶ 150 a 200 J Forma de onda: exponencial truncada.
- ▶ 120 J Forma de onda: rectilínea.
- ▶ 200 J Si se desconoce el tipo de onda bifásica.

La segunda dosis debe ser igual o mayor que la primera.

## CARDIOVERSIÓN

### Indicaciones

Se utiliza para todas las taquicardias: *taquicardia ventricular (TV)*, *taquicardia paroxística supraventricular (TSVP)* *fibrilación auricular*, *aleteo auricular* (frecuencia mayor a 150 latidos/minuto) con signos y síntomas graves relacionados con la taquicardia.

Se puede administrar una prueba breve de fármacos basada en las arritmias específicas.

Por lo general, no se requiere cardioversión inmediata si la FC es menor o igual a 150 latidos / minuto.

La cardioversión sincronizada consiste en aplicar la corriente eléctrica en un momento del ciclo cardíaco distante del período vulnerable, ya que en dicho punto son escasa las probabilidades de inducir fibrilación auricular; esto suele equivaler a unos 10 ms después del pico de la onda R. El circuito de sincronización debe activarse cada vez que se desee un impulso. Generalmente se muestra en un monitor que el circuito de sincronización detecta el complejo QRS (medicina de urgencias).

### TÉCNICA

1. Sedación del paciente.
2. Encienda el monitor / desfibrilador.
3. Fije las derivaciones al paciente.
4. Adopte el modo *sincronización* oprimiendo el botón *sinc*.
5. Busque marcadores sobre las ondas R que indican el modo sinc.
6. Seleccione el nivel de energía apropiado.
7. Coloque las almohadillas conductoras sobre el paciente.
8. Ubique las paletas sobre el paciente (esternón-punta).
9. Anuncie a los miembros del equipo: "cargando el desfibrilador, alejados".
10. Controle el equipo para confirmar que persiste la taquicardia.
11. Oprima el botón de CARGA en la paleta de la punta (mano derecha).
12. Cuando el desfibrilador esté cargado, comience el anuncio final para que todos se alejen.
13. Aplique 12 kg de presión sobre ambas paletas.
14. Oprima simultáneamente los botones de DESCARGA y manténgalos apretados hasta que el dispositivo emita la descarga. Aplique dosis de energía monofásica (o dosis clínicamente equivalentes de energía bifásica) de 100 J, 200 J, 300 J, 360 J.

15. Controle el monitor. Si persiste la taquicardia, aumente los J de acuerdo con el algoritmo.
16. Vuelva a activar el modo *sinc* luego de cada descarga, porque la mayoría de los desfibriladores vuelven automáticamente al modo no sincronizado, para permitir una desfibrilación inmediata, si la cardioversión provoca FV.

## **CORRIENTES DE ALTA FRECUENCIA USADAS EN MEDICINA**

Se denominan corriente de alta frecuencia a corrientes alternas que tienen más de 20.000 oscilaciones por segundo. Se caracterizan por obtenerse por procedimientos distintos de los descriptos para las corrientes alternas y por sus propiedades físicas y biológicas. Por su carácter cíclico y por su frecuencia elevada, no producen fenómenos de polarización de los electrodos, se explica que en los seres vivos estas corrientes no determinan excitación nerviosa y muscular y sólo desarrollan calor en los tejidos. Estas características hacen que las corrientes de alta frecuencia tengan amplia aplicación en medicina para la producción de calor en los tejidos profundos.

### **Ondas cortas-Microondas**

Se utilizan en la actualidad en medicina para obtener el calentamiento de los tejidos profundos, las llamadas **ondas cortas**, que por su relativa pequeña longitud, tienen mayor poder de penetración, y por consiguiente, mayor eficacia.

Las ondas cortas han reemplazado casi totalmente a las ondas de diatermia.

Los generadores de onda corta son osciladores de muy pequeña capacidad e inductancia, que determinan corrientes cuyas longitudes están comprendidas entre 50 y 10 m. Entre 10 y 1 m, las ondas se denominan **ultracortas**, y corresponden por lo tanto a frecuencias comprendidas entre 30.000 y 300.000 Kciclos/s. Por debajo de 1 m, hasta confinar con los rayos infrarrojos que llegan a medir hasta 0,25 m, se tienen las microondas, que se usan en el radar.

En medicina se emplean, por lo general, ondas comprendidas entre 3 y 15 m de longitud.

Se están ensayando las microondas, en lugar de las ondas cortas, con fines terapéuticos, y mientras algunos autores admiten que su empleo no entraña peligros, otros han registrado la producción de cataratas en los ojos y alteraciones gonadales.

### **Conductividad de los seres vivos. Diatermia**

Los conductores metálicos presentan gran resistencia a las corrientes de alta frecuencia por causa de los fenómenos de inducción, que adquieren mayor intensidad en la profundidad del conductor, y que hacen que estas corrientes se conduzcan principalmente por la superficie, constituyendo lo que se conoce como efecto piel. Pero en los seres vivos, estas corrientes penetran en la profundidad de los tejidos, los cuales se comportan igual que las soluciones electrolíticas.

Los fenómenos de polarización que se observan con las corrientes continuas o alternas de baja frecuencia, no se producen con las corrientes de alta frecuencia. Por ello no hay excitación neuromuscular y solo se registra calor por el efecto Joule. La cantidad de calor desarrollada en los tejidos ( $Q = 0,24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t$ ), es muy utilizada en terapéutica con el nombre de diatermia.

Los efectos de la corriente son más intensos a nivel de los electrodos de mayor densidad eléctrica, de manera que en los electrodos de pequeña superficie producen un calentamiento mayor que en los electrodos de gran superficie.

Las corrientes que atraviesan el organismo se distribuyen como en los circuitos en derivación conforme a la Ley de Kirchoff, es decir que las intensidades están en razón inversa a las resistencias del circuito, lo que significa que el calentamiento es mayor a nivel de los tejidos de menor resistencia. Por ello los huesos se calientan menos que los tejidos blandos, que conducen mejor la corriente eléctrica.

El calor desarrollado a nivel de los tejidos no queda localizado, sino que se propaga por conducción, y sobre todo por convección, asegurada por la circulación sanguínea. Por estas razones, los tejidos menos irrigados son los que experimentan mayor calentamiento, por ello en los obesos, que tienen abundante cantidad de tejido graso (que es poco vascularizado), existe el peligro de quemaduras con las corrientes de alta frecuencia.

### **Electrocirugía**

En los aparatos de electrocirugía se utiliza un oscilador que produce una corriente de alta frecuencia de alrededor de 500.000 ciclos/s. La corriente se destina a elevar la temperatura de los tejidos, para coagularlos o carbonizarlos, o para provocar la ebullición de sus líquidos.

La electrocoagulación se produce por el contacto directo de los electrodos, que crean calor en los tejidos. La electrodesecación provoca evaporación de la humedad, con coagulación mediante una chispa, entre el electrodo y el tejido. La electrohemostasia produce la deshidratación y coagulación tocando con el electrodo el clamp hemostático que cierra el vaso sangrante.

En el electrobisturí, un delgado alambre de tungsteno hace un pequeño arco antes de tocar el tejido. Esta chispa continua corta el tejido y cierra los vasos sanguíneos. El arco es el que corta, no el alambre. Este procedimiento adquiere especial valor en neurocirugía, donde los pequeños vasos sangrantes deben controlarse rápidamente.

## **LESIONES POR CORRIENTE ELÉCTRICA**

La electricidad daña los tejidos al transformarse en energía térmica. El daño tisular no ocurre únicamente en el lugar de contacto con la piel, sino que puede abarcar a tejidos u órganos subyacentes a la zona de entrada o de salida de la corriente. El grado de lesión tisular depende de varios factores:

### **Intensidad de la corriente (en amperios)**

La cual, a su vez, depende del voltaje y de la resistencia de los tejidos al paso de la corriente ( $\text{Intensidad} = \text{voltaje} / \text{resistencia}$ ). Habrá más daño a mayor voltaje y menor resistencia. Las lesiones más severas se producen por corrientes de alto voltaje (mayor de 1000 voltios), pero una descarga "doméstica" con una corriente alterna de 110 voltios, puede ser mortal. La resistencia de los tejidos es variable; como orientación, se ordenan varios tejidos de mayor a menor resistencia:

Hueso  
 Grasa  
 Tendones  
 Piel seca  
 Piel mojada  
 Músculo  
 Tejido nervioso

Al suponer la resistencia del cuerpo constante la corriente aumenta al aumentar la tensión (Ley de Ohm). Si la resistencia del cuerpo se supone variable la corriente aumenta con la humedad del terreno.

Valores de corriente entre 0,5 a 3 miliamperes, no ofrece peligro de mantener el contacto permanentemente. Ninguna sensación o efecto, umbral de sensación.

Valores de corriente de 8 miliamperes, aparecen hormigueo desagradable, choque indoloro o doloroso y un individuo puede soltar el conductor ya que no pierde totalmente control de sus músculos. Efecto de electrización.

Valores mayores de 10 miliamperes, el paso de corriente provoca contracción muscular en manos y brazos, efectos de choque doloroso pero sin pérdida del control muscular, pueden aparecer quemaduras. Efectos de tetanización. Entre 15 a 20 miliamperes este efecto se agrava.

Valores entre 25 a 30 miliamperes la tetanización afecta los músculos del tórax provocando asfixia.

Valores mayores de miliamperes con menor o mayor tiempo de contacto aparece la fibrilación cardiaca la cual es mortal.

### Efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano

Corriente	Resultado
<b>MACROCHOQUE</b> (Electrodos externos)	
0 – 500 $\mu$ A	No hay sensación.
0,5 – 3 mA	Umbral de sensación.
3 – 15 mA	Choque indoloro o doloroso, contracción muscular.
Superior a 15 mA	No es posible soltarse de la fuente.
10 – 25 mA	Lesión producida por intensas contracciones musculares. No s afectan las funciones cardíacas, ni respiratorias.
25 -100 mA	Parálisis de la respiración.
1 – 3 A	Fibrilación ventricular seguida de muerte si no se revive prontamente el corazón.
Superior a 3 A	Paro cardíaco por la despolarización de todo el músculo cardíaco. El calor destruye severamente los tejidos.
<b>MICROCHOQUE</b> (Electrodos internos)	
0 – 10 $\mu$ A	Sin riesgos para un corazón normal.
10 – 800 $\mu$ A	Umbral de la fibrilación ventricular.

### **Trayecto de la corriente a través del cuerpo**

Si se pueden identificar los puntos de entrada y de salida (donde hallaremos carbonización de la piel, denominada *necrosis coagulativa*), se puede sospechar el pronóstico y la gravedad del proceso valorando los tejidos que han podido ser dañados por la corriente. Recordemos que los tejidos más superficiales se enfriarán antes que los profundos, por los que el calentamiento puede ocasionar lesiones más graves. En general, son peores los trayectos “horizontales” (por ejemplo, brazo-brazo), que los verticales (como hombro-pierna).

### **Duración del contacto con la corriente**

A mayor tiempo de exposición, peores consecuencias. Tengamos además en cuenta otra consideración: la corriente alterna suele producir más daños que la corriente continua.

El rayo constituye un caso especial: puede originar descargas de hasta 100.000.000 de voltios, con una energía de hasta 200.000 amperios. Es corriente directa, y suele producir mínimas quemaduras superficiales con patrón en forma de araña o arborescente y sin alteraciones metabólicas; sin embargo, es habitual la asistolia.

En relación a la **resistencia** del cuerpo, ésta disminuye en días calurosos y húmedos. La resistencia que ofrece al paso de corriente varía según los órganos del cuerpo que atraviesa.

La resistencia del cuerpo varía con la tensión aplicada por el contacto:

10000 ohm para 24 voltios.

3000 ohm para 65 voltios.

2000 ohm para 150 voltios.

A partir de este valor puede considerarse constante aproximadamente 1500 ohm para 220 voltios.

### **Manifestaciones clínicas**

En cuanto a la **electrocución**, cualquier lesión debida a la electricidad es potencialmente grave, tanto si se ha producido por alta tensión como por la tensión doméstica de 220 voltios.

El cuerpo actúa como intermediario entre el conductor eléctrico y la tierra, pasando la corriente por todos los tejidos y causando las lesiones a los mismos, pudiendo llegar a ocasionar la muerte por paro cardiorrespiratorio.

El shock que produce en el individuo la corriente eléctrica, que entra y sale del cuerpo, puede derribarlo, provocarle la pérdida de conciencia o incluso cortarle la respiración e interrumpir los latidos cardíacos.

La electricidad se extiende a todos los tejidos del cuerpo y llega a causar daños profundos y generalizados, aun cuando exteriormente la piel no muestre más que una pequeña señal en el punto de contacto con la corriente.

Si la electrocución se da por baja tensión (110-220 voltios), es necesario que la víctima toque al conductor para que se genere el daño, por el contrario, si es de alta tensión (mas de 1000 voltios), no es necesario el contacto directo, ya que antes de que llegue a tocarlo, salta espontáneamente un arco eléctrico y se produce la

electrocución (por ejemplo en tubos de imagen presentes en televisores, monitores de PC, carteles luminosos, luces de neon, todos estos a su vez pueden mantener tensiones entre los 4000 y 17000 voltios, aun luego de desconectados).

Las lesiones por electricidad poseen algunas peculiaridades que las diferencian de meras quemaduras, y que hay que recordar y tener en cuenta. Las lesiones cutáneas engañosamente pequeñas, pueden quedar superpuestas a amplias zonas de músculo y otros tejidos desvitalizados y necrosados que pueden liberar cantidades significativas de mioglobina y potasio, pudiéndose producir una insuficiencia renal aguda (IRA) e hiperpotasemia si no se mantiene una adecuada diuresis. Son frecuentes, así mismo, los síndromes compartimentales por edema muscular.

Las complicaciones que pueden aparecer tras una descarga eléctrica aparecen resumidas y organizadas por aparatos en la siguiente tabla:

<b>Aparato circulatorio</b>	<p><b>Corazón:</b> Fibrilación ventricular (alto voltaje). Asistolia (rayo). Arritmias, incluyendo bradiarritmias.</p> <p><b>Vasos sanguíneos:</b> Obstrucción vascular con necrosis secundaria.</p> <p><b>Sangre:</b> Hemólisis</p>
<b>Aparato respiratorio</b>	<p>Paro respiratorio. Edema orofaríngeo que puede ocasionar asfixia. Aspiración pulmonar. Contusión pulmonar.</p>
<b>Aparato nervioso</b>	<p><b>Central:</b> Pérdida de conocimiento; desorientación. Cefalea persistente. Edema cerebral; convulsiones. Hemorragia cerebral o subaracnoidea.</p> <p><b>Periférico:</b> Lesiones medulares. Neuropatía periférica. Distrofia simpática refleja.</p>
<b>Aparato locomotor</b>	<p><b>Músculo:</b> Necrosis muscular con mioglobinuria. Síndrome compartimental.</p> <p><b>Huesos:</b> Fracturas; luxaciones; lesiones vertebrales.</p>
<b>Aparato digestivo</b>	<p>Dilatación gástrica; vómitos. Hemorragia digestiva. Úlceras de yeyuno e ileon.</p>
<b>Aparato urinario</b>	<p>Necrosis tubular renal por mio o hemoglobinuria.</p>

<b>Órganos de los sentidos</b>	Cataratas.
<b>Complicaciones metabólicas</b>	Acidosis metabólica. Hiperpotasemia por necrosis muscular. Hipotermia.

La causa más frecuente de muerte inmediata es el paro cardíaco por asistolia o fibrilación ventricular. Puede haber paro respiratorio primario por el paso de corriente a través del cerebro, o por tetanización de los músculos respiratorios. En el primer caso es frecuente el estado de coma, y puede desarrollarse edema cerebral en las horas o días siguientes.

### **Tratamiento**

La primera medida prehospitalaria a tomar es el aislamiento de la víctima, separándola de la corriente eléctrica con precaución de no tocar el conductor: cortar antes la corriente, utilizar si es posible, guantes fuertes de goma o un objeto no conductor.

### **Actitud en el lugar del accidente**

Si hay paro cardiorrespiratorio han de iniciarse las maniobras de reanimación en el lugar del accidente mediante reanimación cardio-pulmonar básica (RCP), o avanzada si se dispone, hasta que la víctima se recupere, incluyendo por tanto, durante el trayecto al hospital más cercano en UVI móvil. Se recomienda prolongar los intentos de reanimación en paro cardíaca post-descarga eléctrica, ya que se ha podido reanimar a los pacientes después de 4 horas de paro. La midriasis en estos casos carece, por tanto, de carácter diagnóstico y pronóstico. Además puede darse el caso de que los músculos respiratorios estén en situación de parálisis, por la electricidad recibida, durante más tiempo que el miocardio, pudiendo haber reanimación cardíaca y persistir la parada respiratoria de origen periférico por parálisis muscular.

### **Actitud durante el traslado**

Durante el traslado, o durante la espera de la ambulancia, si se dispone de medios para ello, se ha de prestar atención a los siguientes aspectos:

- Es frecuente que la víctima entre el ritmo cardíaco de fibrilación ventricular, por lo que la monitorización ha de ser inmediata, y se seguirá de la actuación por protocolos estandar.
- La vía aérea ha de estar permeable. Para ello y para prevenir la aspiración pulmonar, se aconseja la intubación traqueal precoz.
- Se han de buscar los puntos de entrada y de salida de la lesión, para establecer una estimación de los tejidos dañados.
- De forma rutinaria se aconseja administrar manitol 20% 1-2 g / kg de peso, para prevenir la mio o hemoglobinuria, salvo en los casos de lesión por rayo.
- Se abrigará el paciente para evitar la hipotermia.
- En caso de presentar convulsiones, se aconseja la administración intravenosa de diazepam, de 3 a 10 mg.

### **Tratamiento hospitalario**

Respecto al tratamiento en el hospital, éste no difiere mucho del resto de quemaduras térmicas, salvo alguna pequeña variante.

- La monitorización ha de ser inmediata, dependiendo el tratamiento del trazado. Esta monitorización se debe mantener durante al menos 48-72 horas.
- Si no se ha intubado, debe hacerse en forma precoz. En el caso de que el paciente presente quemaduras orofaríngeas, habrá que realizar una traqueostomía urgente para evitar estenosis y la imposibilidad de paso de aire.
- La fluidoterapia se hará en función de las necesidades calculadas, manteniendo una diuresis mínima de 100 ml / hora en presencia de mioglobinuria o hematuria.
- Durante 3-5 días deben hacerse analíticas de sangre y orina, incluyendo al menos una gasometría. Habrá que prestar una especial atención a la albuminuria, mio o hemoglobinuria o cilindruria, para controlar la aparición de una insuficiencia renal aguda.
- La exploración física de la víctima debe hacerse completa, valorando posibles fracturas, luxaciones o lesiones dérmicas, así como los pulsos arteriales y perfusión periférica; si hay compromiso vascular por síndrome compartimental, está indicada la fasciotomía.
- No se debe olvidar la administración de la vacuna antitetánica si el estado vacunal del paciente no es correcto, puesto que los quemados por corriente eléctrica son más propensos a desarrollar tétanos.
- También está indicado el desbridamiento precoz de escaras para evitar la sepsis por anaerobios, e incluso de forma quirúrgica, en cuanto el paciente se encuentre estable.
- La mayoría de los autores desaconsejan el uso de antibioterapia profiláctica, salvo en necrosis tisulares importantes.
- Una quemadura que es peculiar en los niños es la que abarca la comisura labial y puede producirse al chupar el pequeño el extremo de una conexión con corriente como un enchufe. De manera típica la lesión es blanca perlada, propia de una quemadura de espesor total, y la hemorragia de la arteria labial es lo suficientemente frecuente para justificar la hospitalización inicial. Suele preferirse la desbridación temprana, pues consiguen una muy buena cicatrización con mínimos defectos.

**CONTINÚA.....**